

УДК 624.042.5:624.014.2

В.А. Пашинський<sup>1</sup>, Н.В.Пушкар<sup>2</sup>, В.В. Пашинський<sup>2</sup><sup>1</sup>Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград<sup>2</sup>Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

## СПРОЩЕНА МЕТОДИКА НОРМУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ НА НЕСУЧІ БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

За результатами статистичного аналізу метеорологічних даних визначені розрахункові параметри температури атмосферного повітря, як силового впливу на несучі будівельні конструкції. Розроблено методику нормування температурних впливів на основі безпосереднього встановлення перепадів температури. Запропонований порядок визначення розрахункових значень температурного впливу простіший від представленого в чинних нормах і гармонізований з формами подання інших атмосферних навантажень.

**Ключові слова:** температура атмосферного повітря, вплив на несучі будівельні конструкції, територіальне районування.

### Постановка проблеми

Істотний вплив змін температури атмосферного повітря на напружено-деформований стан несучих конструкцій [1, 2, 3] обумовлює необхідність дослідження й уточнення температурних впливів та методики їх урахування при проектуванні.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розрахункові значення температурного впливу на несучі будівельні конструкції визначаються за нормами навантажень ДБН В.1.2-2:2006, які не враховують мінливості розрахункових параметрів [4, 5, 6, 7] по території України [8] та не встановлюють залежності розрахункових значень температурних перепадів від строку служби конструкції, як це зроблено в тих же ДБН [9] для інших кліматичних навантажень (сніг, вітер, ожеледь).

Для дослідження силового впливу змін температури атмосферного повітря на несучі будівельні конструкції можна використати статистичні характеристики квазістаціонарного випадкового процесу середньодобової температури повітря на території України, які наведені й проаналізовані в монографії [10] та в нашій роботі [11].

Пропозиції щодо нормування силового впливу температури повітря з урахуванням строку служби конструкцій і територіальної мінливості розрахункових параметрів розроблені в нашій статті [12]. Запропонована схема нормування відповідає класичному підходу ДБН [9] та EN [13], який базується на визначенні розрахункових значень температурних перепадів як різниць між температурами найхолоднішої чи найтеплішої доби

та початкової температури замикання конструкції. Розрахункові температури доби відповідають заданим періодам повторюваності, а їх характеристичні значення встановлюються за розробленими картами територіального районування, що й вирішує проблему гармонізації з методикою нормування інших кліматичних навантажень. Недоліком методики [12] є значна кількість розрахункових параметрів, а також необхідність використання двох карт територіального районування України за характеристичними значеннями температури найхолоднішої та найтеплішої доби, що ускладнює норми навантажень і користування ними.

**Мета даної роботи** полягає в розробленні спрощеного порядку визначення розрахункових параметрів температури атмосферного повітря при проектуванні несучих конструкцій, який відповідає сучасним вимогам до нормування навантажень.

### Виклад основного матеріалу

Спрощена методика нормування температурних впливів базується на безпосередньому встановленні перепадів температури  $\Delta_{\text{с0}}$ , які реалізуються взимку після літнього замикання конструкцій, і  $\Delta_{\text{w0}}$ , які реалізуються влітку після зимового замикання конструкцій. Такий підхід істотно спрощує порядок визначення температурних впливів за рахунок зменшення кількості розрахункових параметрів.

**Вихідними даними**, як і в попередній роботі [12], є середньомісячні значення температури повітря на 412 метеорологічних станціях і постах України. Коефіцієнти варіації та асиметрії визначаються через математичне сподівання за формулами з [10], а значення ефективної частоти

квазістаціонарного випадкового процесу середньодобової температури повітря дорівнює  $\omega=0,6$  1/добу. Також використані розрахункові параметри температури атмосферного повітря, які були обчислені в роботі [11]:

- початкові температури замикання конструкцій, рівні середнім температурам холодного  $t_{0c}$  та теплого  $t_{0w}$  півріччя;
- граничні розрахункові значення температури найхолоднішої  $t_{mc}(T)$  та найтеплішої доби  $t_{mw}(T)$  з різними періодами повторюваності  $T$ ;
- експлуатаційні розрахункові значення температури найхолоднішої  $t_{ec}(\eta)$  та найтеплішої доби  $t_{ew}(\eta)$  для різних часток строку служби  $\eta$ , протягом яких вони можуть перевищуватися;
- квазіпостійні розрахункові значення перепадів температури  $\Delta_p$ .

**Граничні розрахункові значення** перепадів температури повітря в зимовий та в літній період (при літньому та зимовому замиканні конструкцій) визначені, як різниці розрахункових значень температур найхолоднішої  $t_{mc}(T)$  чи найтеплішої доби  $t_{mw}(T)$  з заданими періодами повторюваності  $T$  і середньої температури теплого  $t_{0w}$  та холодного  $t_{0c}$  півріччя:

$$\Delta_{mc}(T) = t_{mc}(T) - t_{0w}; \quad \Delta_{mw}(T) = t_{mw}(T) - t_{0c}. \quad (1)$$

Згідно з загальними вимогами норм [14], характеристичними вважаються значення перепадів температури повітря  $\Delta_{c0} = \Delta_{mc}(50)$  і  $\Delta_{w0} = \Delta_{mw}(50)$  з середнім періодом повторюваності  $T=50$  років. Їх мінливість в межах території України відображена на гістограмах розподілу, наведених на рисунку 1.

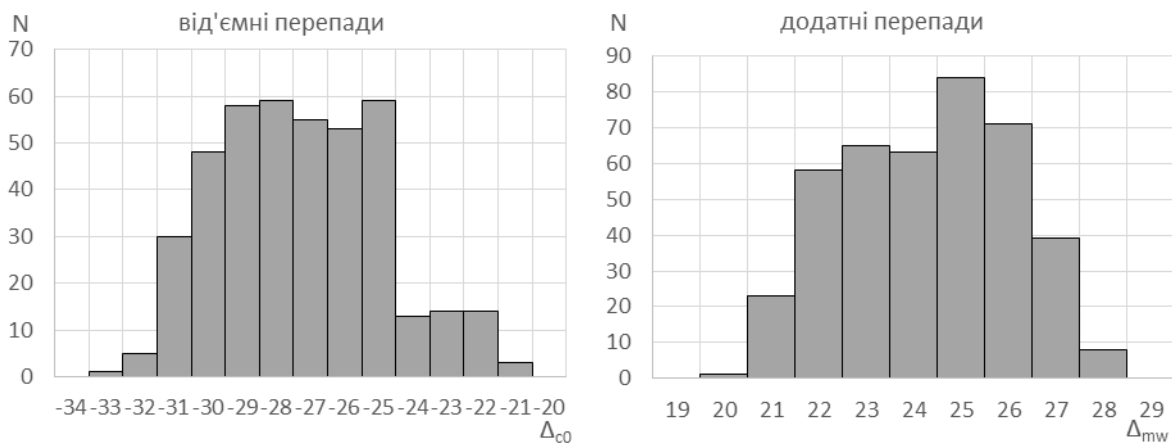


Рис. 1 Гістограми розподілу характеристичних значень перепадів температури повітря на території України

З гістограм видно, що температурні перепади  $\Delta_{mc}(50)$  і  $\Delta_{mw}(50)$  змінюються в досить широких діапазонах, що явно вимагає їх територіального районування. Діапазон зміни температурних перепадів при зимовому замиканні конструкцій (додатні перепади) є дещо меншим, ніж при літньому замиканні (від'ємні перепади), але також досить великим.

З метою спрощення порядку нормування на рисунку 2 збудована залежність між перепадами температури у бік зменшення  $\Delta_{c0}$  та в бік зростання  $\Delta_{w0}$ . Коефіцієнт кореляції 0,967 вказує на досить тісний зв'язок і можливість використання лінійної аналітичної залежності, яка з метою створення запасу надійності проведена поблизу верхньої межі дослідних точок

$$\Delta_{w0} = 11 - 0,5 \Delta_{c0}. \quad (2)$$

Використання залежності (2) дозволяє адекватно відобразити територіальну мінливість температурних впливів, розробивши лише одну

карту територіального районування України за характеристичними значеннями перепаду температури у бік зменшення  $\Delta_{c0}$ .

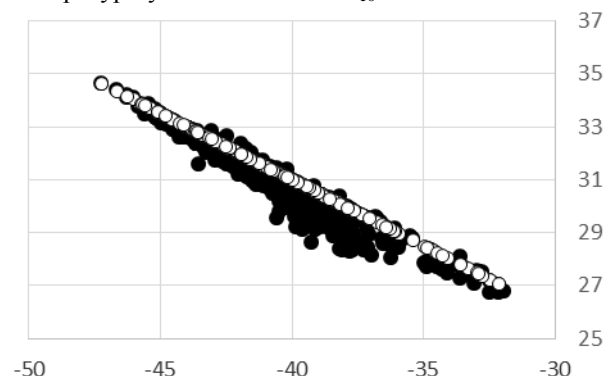


Рис. 2 Залежність між перепадами температури у бік зменшення та зростання

**Територіальне районування** України за характеристичними значеннями перепаду температури у бік зменшення  $\Delta_{c0}$  (при літньому

замиканні конструкцій) виконане за методикою, використаною й коротко описаною в роботі [12]. На карті, наведеній на рисунку 3, виділено шість територіальних районів, які відображають зменшення температурних перепадів від  $-46^{\circ}\text{C}$  на північному сході України до  $-36^{\circ}\text{C}$  в Криму.

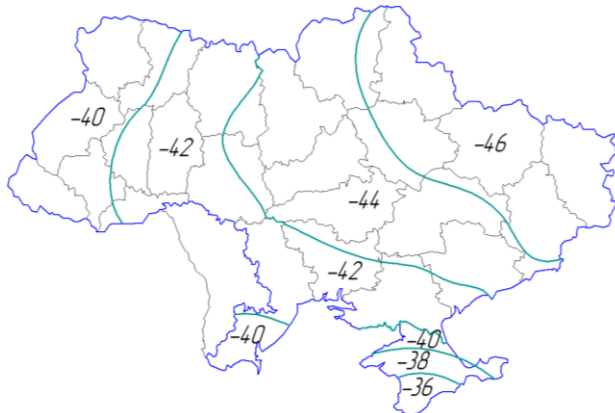


Рис. 3 Територіальне районування України за характеристичним значенням перепаду температури у бік зменшення  $\Delta_{c0}$  (при літньому замиканні конструкцій)

При загальному зниженні температури повітря зі збільшенням висоти над рівнем моря температурні перепади практично не залежать від географічної висоти. Відсутність необхідності урахування коефіцієнта географічної висоти додатково спрощує порядок визначення температурних перепадів.

Перехід від характеристичних до граничних розрахункових значень перепадів температури виконується шляхом множення на коефіцієнти надійності  $\gamma_{fm}$ , залежні від заданого періоду повторюваності. На рисунку 4 зображені найбільші, найменші й середні з усіх пунктів спостереження значення  $\gamma_{fm}$ , а також апроксимуюча логарифмічна залежність

$$\gamma_{fm} = A + B \log(T) = 0,839 + 0,095 \lg(T), \quad (3),$$

графік якої на рисунку 3 (жирна суцільна лінія) в запас надійності проходить дещо вище середнього значення  $\gamma_{fm}$  (жирний пунктир).

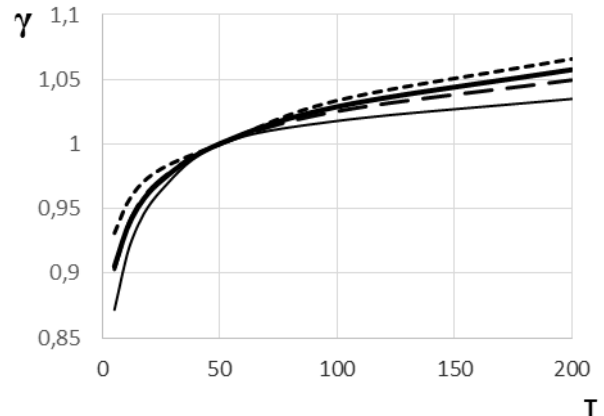


Рис. 4 Залежність коефіцієнта надійності  $\gamma_{fm}$  від періоду повторюваності температурного перепаду

В межах реальних термінів експлуатації будівель та конструкцій від 25 до 200 років коефіцієнти надійності для окремих метеостанцій перевищують значення (3) не більше, ніж на 0,9%, що свідчить про цілком достатній запас надійності.

**Експлуатаційні розрахункові значення** перепадів температури повітря в зимовий  $\Delta_{ec}(\eta)$  та в літній  $\Delta_{ew}(\eta)$  період (при літньому та зимовому замиканні конструкцій) визначені для усіх 412 пунктів спостереження, як різниці обчислених екстремальних температур та середньої температури відповідного (теплого чи холодного) півріччя по аналогії з формулами (1). Територіальна мінливість цих значень при частці терміну експлуатації  $\eta=0,02$ , рекомендованій ДБН [14] для проектування конструкцій масового використання, відображена на гістограмах розподілу з рисунка 5.

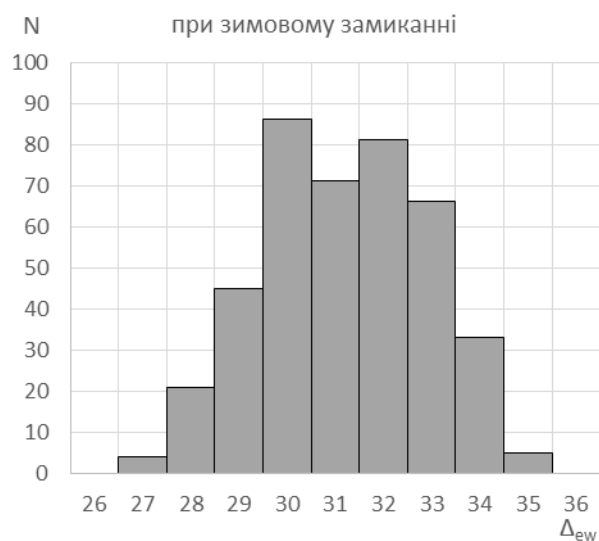
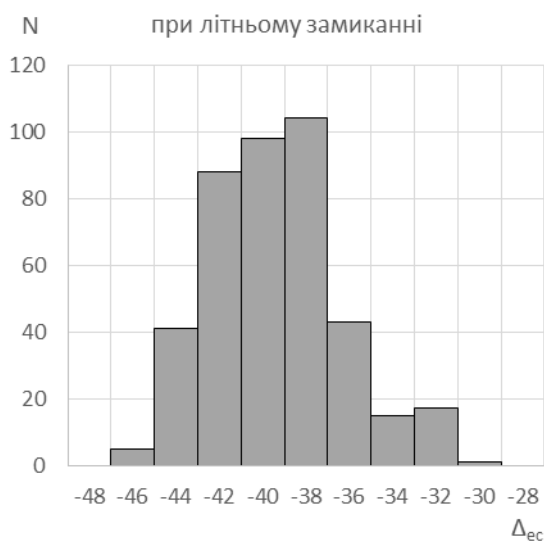


Рис. 5 Гістограми розподілу експлуатаційних розрахункових значень перепадів температури повітря на території України

Як і для граничних розрахункових значень, перепади в бік зростання  $\Delta_{ew}$  є менш мінливими, ніж у бік зменшення температури  $\Delta_{ec}$  (при літньому замиканні конструкцій). Розкид даних порядку 8...12°C вказує на необхідність територіального районування експлуатаційних розрахункових значень температурних перепадів.

Експлуатаційні розрахункові значення перепадів температури доцільно подати через характеристичні значення перепадів, встановлені за картою з рисунка 3 та формулою (2). Залежності коефіцієнтів надійності за експлуатаційними розрахунковими значеннями перепадів температури в бік підвищення  $\gamma_{few}$  та зменшення  $\gamma_{fec}$  від частки терміну експлуатації  $0,002 \leq \eta \leq 0,1$  зображені на рисунку 6.

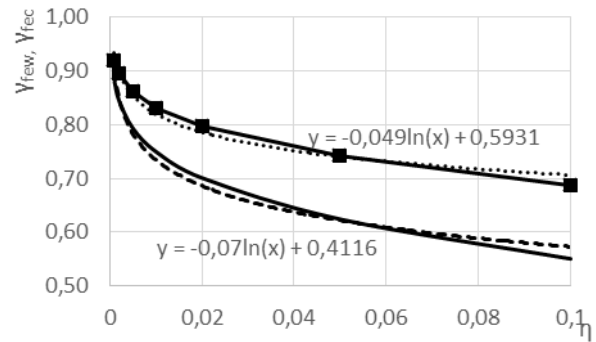


Рис. 6 Залежності коефіцієнтів надійності  $\gamma_{few}$  та  $\gamma_{fec}$  від частки терміну експлуатації  $\eta$

Для визначення коефіцієнтів надійності  $\gamma_{few}$  та  $\gamma_{fec}$  можна скористатися як аналітичними функціями, наведеними на рисунку 6, так і даними таблиці 1

Таблиця 1

Коефіцієнти надійності  $\gamma_{fe}$  за експлуатаційними розрахунковими значеннями перепадів температури

Частка терміну експлуатації $\eta$	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1
Коефіцієнти $\gamma_{fec}$	0,880	0,844	0,793	0,750	0,701	0,624	0,551
Коефіцієнти $\gamma_{few}$	0,920	0,896	0,861	0,831	0,798	0,743	0,688

**Квазіпостійні розрахункові значення** перепадів температури повітря встановлені за методикою [12], як постійна складова змінного температурного впливу. Для усієї території України доцільно прийняти загальне значення  $\Delta_p = \pm 9^\circ\text{C}$ , яке перевищується на 15 пунктах спостереження з 412.

**Порядок визначення розрахункових параметрів** кліматичного температурного впливу при проектуванні несучих будівельних конструкцій викладено в таблиці 2. Наведені формули та посилання засновані на обґрунтованих вище принципах нормування температури повітря.

Таблиця 2

Порядок визначення розрахункових параметрів температури повітря

Параметри	Способи визначення
Характеристичне значення від'ємного перепаду температури $\Delta_{c0}$ (при літньому замиканні конструкцій)	За картою рисунка 3
Характеристичне значення додатного перепаду температури $\Delta_{w0}$ (при зимовому замиканні конструкцій)	$\Delta_{w0} = 11 - 0,5 \Delta_{c0}$ (2)
Граничні розрахункові значення від'ємного (при літньому замиканні конструкцій) $\Delta_{mc}(T)$ і додатного (при зимовому замиканні конструкцій) $\Delta_{mw}(T)$ перепадів температури з періодом повторюваності T	$\Delta_{mc}(T) = \gamma_{fm} \Delta_{c0}$ $\Delta_{mw}(T) = \gamma_{fm} \Delta_{w0}$ $\gamma_{fm}$ – за (3)
Експлуатаційні розрахункові значення від'ємного $\Delta_{ec}(\eta)$ і додатного $\Delta_{ew}(\eta)$ перепадів температури для частки строку служби $\eta$	$\Delta_{ec}(\eta) = \gamma_{fec} \Delta_{c0}$ $\Delta_{ew}(\eta) = \gamma_{few} \Delta_{w0}$ $\gamma_{fec}$ – за табл. 1 або рис. 6
Квазіпостійне розрахункове значення перепаду температури $\Delta_p$	$\Delta_p = 9^\circ\text{C}$
Початкова температура замикання конструкцій в теплий $t_{0w}$ (середня температура теплового півріччя) і в холодний період року $t_{0c}$ (середня температура холодного півріччя)	$t_{0w} = +18^\circ\text{C}$ $t_{0c} = -2^\circ\text{C}$

Вказані в таблиці 2 початкові температури замикання конструкцій необхідні для визначення температурних перепадів у будівлях зі штучним

кліматом за формулами з таблиці 11.1 ДБН [9]. На відміну від наведених в ДБН середніх по території України значень  $t_{0w} = +15^\circ\text{C}$  і  $t_{0c} = 0^\circ\text{C}$ , дані таблиці 2

встановлені із забезпеченістю 0,85–0,90, що створює запас надійності при розрахунках конструкцій.

Розроблена форма подання температурного впливу гармонізована з поданням інших кліматичних навантажень в ДБН [9] і забезпечує можливість досить точного визначення розрахункових параметрів температури атмосферного повітря для проектування несучих будівельних конструкцій на території України.

### Висновки за результатами дослідження

1. За даними 412 пунктів спостереження визначені характеристичні значення додатних і від'ємних перепадів температури повітря, які відповідають періоду повторюваності 50 років. Значна мінливість обумовлює необхідність територіального районування України за характеристичними значеннями цих перепадів.

2. Виявлена залежність додатних перепадів температури від від'ємних, яка дозволила звести територіальне районування до розроблення лише однієї карти районування України за характеристичними значеннями від'ємних перепадів температури.

3. Розрахункові значення перепадів температури обчислюються шляхом множення характеристичних значень на обґрунтовані в роботі коефіцієнти надійності, які враховують заданий період повторюваності граничних розрахункових значень та частку терміну експлуатації, протягом якої можуть перевищуватися експлуатаційні розрахункові значення температурного впливу.

4. Запропонована методика нормування та визначення граничних, експлуатаційних і квазіпостійних розрахункових значень впливу температури атмосферного повітря на несучі будівельні конструкції, яка базується на безпосередньому районуванні мінусових перепадів температури та визначенні усіх інших параметрів за виявленими залежностями. Ця методика гармонізована з формою подання інших кліматичних навантажень в ДБН В.1.2-2:2006, але відрізняється меншою кількістю розрахункових параметрів та карт районування, що спрощує норми та порядок користування ними.

### Література

1. Saetta, A., Scotta, R., and Vitaliani, R. (1995). "Stress Analysis of Concrete Structures Subjected to Variable Thermal Loads." *J. Struct. Eng.*, 121(3), 446–457.
2. U. Schneider, U. Diedrichs and C. Ehm, *Effect of temperature on steel and concrete for PCRV's*, Nucl. Engrg. Design 67 (1981) 245–258.
3. Hirst, M. J. S. 1984. "Temperature Effects." *Short Course on Prestressed Slab Systems*-Chapter 11, Concrete Institute of Australia and N.S.W.I.T.

4. Wang, S. and Xu, X. 2006. *Simplified Building Model for Transient Thermal Performance Estimation Using GA-based Parameter Identification*. *International Journal of Thermal Sciences*. 45 (2006): 419–432.
5. Fernando S. W., Lamberts R. (2004) *The use of simplified weather data to estimate thermal loads of non-residential buildings*. *Energy Efficiency in Buildings Laboratory, Civil Engineering Department, Federal University of Santa Catarina, Cx Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil*. 109–113
6. Jerome Namias, 1976: *Some Statistical and Synoptic Characteristics Associated with El Niño*. *J. Phys. Oceanogr.*, 6, 130–138.
7. Cort J. Willmott and Kenji Matsuura, 1995: *Smart Interpolation of Annually Averaged Air Temperature in the United States*. *J. Appl. Meteor.*, 34, 2577–2586.
8. Кінаш П.І. Температурний режим повітря і ґрунту в Україні / П.І. Кінаш, О.М. Бурнаєв. – Львів: Видавництво науково-технічної літератури, 2001р. – 800 с.
9. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2007. – 60 с.
10. Напружено-деформований стан сталевих каркасів при температурних впливах (монографія) / В.С.Дорофєєв, Н.В.Пушкар, В.В.Пашинський; Одеська державна академія будівництва та архітектури. – Одеса, 2014. – 160 с.
11. Карюк А.М. Статистичні характеристики середньодобової температури повітря на території України / А.М. Карюк, В.В. Пашинський // *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. – Одеса: Зовнішнєрекламсервіс, 2012 – Випуск № 47, частина 2. – С. 157–163.
12. Пашинський В.В. Нормування й районування розрахункових параметрів температури повітря на території України // *Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб.* - Харків, 2015. - Вип. 120. Серія: Технічні науки та архітектура. - С. 49 - 53.
13. ENV 1991-2-5. Eurocode 1 - Basis of design and actions on structures. Part 2.5 : Thermal actions.- CEN, 1997
14. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 30 с.

### References

1. Saetta, A., Scotta, R., and Vitaliani, R. (1995). "Stress Analysis of Concrete Structures Subjected to Variable Thermal Loads." *J. Struct. Eng.*, 121(3), 446–457.
2. U. Schneider, U. Diedrichs and C. Ehm, *Effect of temperature on steel and concrete for PCRV's*, Nucl. Engrg. Design 67 (1981) 245–258.
3. Hirst, M. J. S. 1984. "Temperature Effects." *Short Course on Prestressed Slab Systems*-Chapter 11, Concrete Institute of Australia and N.S.W.I.T.
4. Wang, S. and Xu, X. 2006. *Simplified Building Model for Transient Thermal Performance Estimation Using GA-based Parameter Identification*. *International Journal of Thermal Sciences*. 45 (2006): 419–432.
5. Fernando S. W., Lamberts R. (2004) *The use of simplified weather data to estimate thermal loads of non-residential*



buildings. *Energy Efficiency in Buildings Laboratory, Civil Engineering Department, Federal University of Santa Catarina, Cx Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil.* 109-113

6. Jerome Namias, 1976: *Some Statistical and Synoptic Characteristics Associated with El Niño.* J. Phys. Oceanogr., 6, 130–138.

7. Cort J. Willmott and Kenji Matsuura, 1995: *Smart Interpolation of Annually Averaged Air Temperature in the United States.* J. Appl. Meteor., 34, 2577–2586.

8. Burnayev O.M., Kinash R.I. (2001) *The temperature regime of air and soil in Ukraine.* Publishing House of scientific and technical literature, Lviv, Ukraine, 800.

9. DBN B.1.22:2006. *System of ensuring reliability and safety construction objects. Loads and impacts. Designing standards.* Kyiv: Ministry of Regional Civil Engineering of Ukraine, 2006. 60 p.

10. Dorofeyev V.S., Pushkar N.V., Pashynsky V.V. (2014) *Stress-strained state of steel frames with thermal effects (monograph)* Odessa State Academy of Construction and Architecture. - Odessa, 160 p.

11. Karyuk A.N., Pashinsky V.V. (2012) *Statistical characteristics of the average air temperature in Ukraine.* Journal of Odessa State Academy of Construction and Architecture. Odessa, Ukraine, 47, 157-162.

12. Pashinsky V.V. *Rationing and zoning of the design temperature in Ukraine (2015) Communal economy of cities - Kharkiv, 2015. - Vol. 120 Series: Engineering and architecture.* 49 - 53.

13 ENV 1991-2-5. *Eurocode 1 - Basis of design and actions on structures. Part 2.5 : Thermal actions.* - CEN, 1997

14. DBN B.1.2-14-2009. *System of ensuring reliability and safety construction objects. General principles of reliability and constructive safety of buildings, structures and foundations.* Kyiv: Ministry of Regional Civil Engineering of Ukraine, 2009. 30 p.

**Автор:** ПАШИНСЬКИЙ Віктор Антонович  
Кіровоградський національний технічний університет, д.т.н., професор.

**Автор:** ПУШКАР Наталя Володимирівна  
Одеська державна академія будівництва та архітектури, к.т.н., доцент.

**Автор:** ПАШИНСЬКИЙ Віктор Вікторович  
Одеська державна академія будівництва та архітектури, аспірант.  
E-mail – sollarpol @gmail.com

## УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕСУЩИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

В.А. Пашинский, Н.В. Пушкар, В.В. Пашинский

По результатам статистического анализа метеорологических данных определены расчетные параметры температуры атмосферного воздуха, как силового воздействия на несущие строительные конструкции. Разработана методика нормирования температурных воздействий, основанная на непосредственном определении перепадов температуры. Предложенный порядок определения расчетных значений температурного воздействия проще предусмотренного действующими нормами, а также гармонизирован с формами представления других атмосферных нагрузок.

Ключевые слова: температура атмосферного воздуха, влияние на несущие строительные конструкции, территориальное районирование.

## SIMPLIFIED METHODS OF REGULATION OF TEMPERATURE EFFECTS ON BEARING STRUCTURES FOR THE TERRITORY OF UKRAINE

Pashinsky V.A., Pushkar N.V., Pashinsky V.V.

According to the results of statistical analysis of meteorological data the design parameters of the temperature of air that is needed to account for the effect of temperature on the force bearing structures of buildings are calculated. A method for the regulation of effects of temperature on the basis of the establishment of direct changes in temperature was developed. The proposed procedure for determining the estimated value of the temperature exposure is easier from that presented in the current norms and harmonized with representation forms of other atmospheric loads.

Keywords: air temperature, impact on bearing constructions, territorial zoning.